不完全合成床版の有限要素解析

広島大学工学部 学生員 ○東　大輔
広島大学工学部 正会員　藤井 堅

1.まえがき　最近，合成床版は，自重の軽減，経済性の理由から注目され，用例も多くなっている．しかし，不完全合成床版の設計法は確立されていない実状から，コンクリートスラブと鋼板間のずれ止めのずれを考慮でき，十分な精度が得られる不完全合成床版の解析用プログラムを開発した．

2.仮想仕事の原理による F.E.M の定式化　浜田[1]らと同様な考え方に基づいて仮想仕事の原理を用いて F.E.M の定式化を行った．Fig.1 のように板の中立面に x,y 軸をとりこれと直角方向に z 軸をとると，薄板理論では任意点でのひずみは中央面の変位を用いて次のように表わせる．

$$\varepsilon_x = u_{,x} - zw_{,xx} \cdot\cdot\cdot (1) \quad \varepsilon_y = v_{,y} - zw_{,yy} \cdot\cdot\cdot (2) \quad \gamma_{xy} = v_{,x} + u_{,y} - 2zw_{,xy} \cdot\cdot\cdot (3)$$

不完全合成床版の仮想仕事増分 δU は次のように表わせる．

$$\delta U = \delta U_C + \delta U_S + \delta U_{SH} \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot (4)$$

ここで，δU_C，δU_S はコンクリートと鋼板の応力とひずみによる仮想仕事増分である．また δU_{SH} は，ずれ止めの仮想仕事増分で次のように表わせる．

$$\delta U_{SH} = \int_A \left(q_x \delta\Delta_x + q_y \delta\Delta_y\right) dA \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot (5)$$

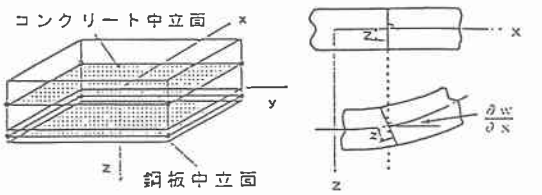

Fig.1　平 板

式(5)の q_x，q_y および $\delta\Delta_x$，$\delta\Delta_y$ はずれ止めに働く x,y 方向の単位面積当たりのせん断力とずれ量である．

ずれ止めを，コンクリートスラブと鋼板をつなぐばねとみなすと，q_x，q_y は，次のように表わせる．

$$q_x = k_x \Delta_x \cdot\cdot\cdot (8) \quad q_y = k_y \Delta_y \cdot\cdot\cdot (9)$$

変位関数については，面内変位は不完全１次，面外変位は不完全３次の非適合変位関数を用いた．浜田[1]らは，変位関数に適合形状関数を用いることで，少ない要素数で精度を確保している．しかしここでは，定式化が容易な非適合形状関数を使用した．これは，塑性域の進展やずれ剛性の非線型性を考慮した，弾性非線型解析に拡張すると，ある程度要素数を増やすことはやむを得ないと考えたことによる．

3.精度の検討　一辺 50cm の周辺単純支持板，コンクリートスラブ厚 13.0cm，鋼板厚 0.6cm,材料定数は，コンクリートの弾性係数 E_c=2.8436×10^{5}kgf/cm^2，鋼板の弾性係数 E_s=2.1×10^{6}kgf/cm^2，コンクリートスラブと鋼板のポアソン比 ν_c，ν_s=0.3 とする．等分布荷重 p=10kgf/cm^2 が作用したとき，ばね定数を変化させて板中央点のたわみを重ね板や完全合成板の理論値とあわせて Fig.2 に示す．Fig.2 より k=10^{8}kgf/cm^2/cm 程度で完全合成の板の理論値に収束していることが分かる．

Fig.3 に k=0kgf/cm^2/cm と k=10^{8}kgf/cm^2/cm のときの板中央点のたわみと分割数の関係を重ね

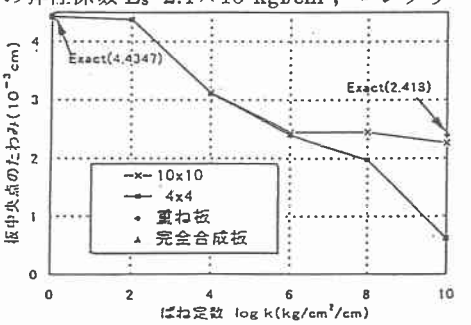

Fig.2　ばね定数－たわみ曲線

板や完全合成板の理論値とあわせて示す．Fig.3より，浜田らはずれを考慮するときには適合形状関数がよいとしているが，k=0kgf/cm²/cm(重ね板)のときは，非適合変位関数でも4×4分割程度で十分な精度が得られている．一方，k=10⁸kgf/cm²/cm(完全合成板としてよい)のときは，分割数を増し8×8分割程度でほぼ完全合成板の理論値に近い値が得られている．したがって，非適合形状関数を用いても要素分割数を多くすることによって，ずれを考慮した精度の高い合成床版の解析が可能である．

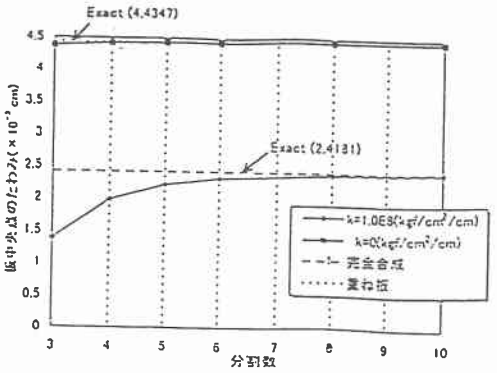

Fig.3　等分布荷重を受ける板中央点のたわみ

4.ずれ止め応力の分布

Fig.4に示すタイプ1～タイプ3の水平変位を止める位置が異なる単純支持はりの中央点に集中荷重P=2.0tfが作用した場合，種々のばね定数を与えてコンクリートスラブと鋼板の境界面に働くせん断応力を求めると，Fig.5のようになる．Fig.5より不完全合成はりにおいては，支点部近傍に近づくにつれてせん断応力が，大きくなるのが分かる．また，ずれを止める位置によってせん断応力の値が大きく異なる．ばね定数が大きくなる(完全合成)につれて，せん断応力分布は三角形状から一定になりどの位置のせん断応力も一定値となるように変化する．

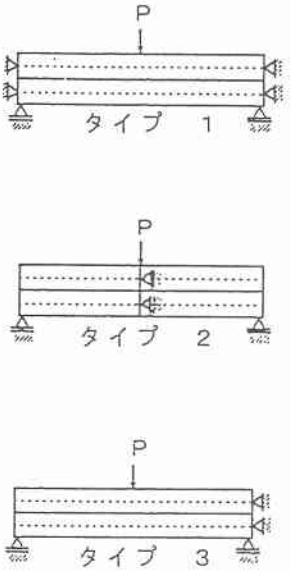

Fig.4　単純はりの境界条件

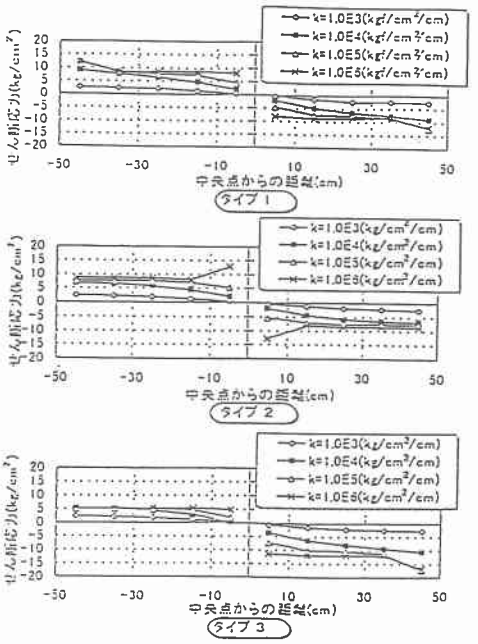

Fig.5　スタッドに働くせん断応力分布

5.結論

1)ずれ止めをコンクリートスラブと鋼板をつなぐ単位面積当たりのばねとみなすことで，比較的少ない計量で不完全合成床版の挙動を表現できた．

2)非適合形状関数を用いて板の解析を行う場合，完全合成に近づくにつれて誤差が大きくなる．しかし，要素の分割数を多くすれば(10×10分割程度)十分な解を得ることができる．

3)面内変位の拘束位置により，ずれ止めに働くせん断応力の分布が異なる．現設計では，このようなことを考慮されていないが，今後検討が必要と思われる．

［参考文献］1)浜田：不完全合成版の有限要素解析，構造工学論文集，Vol.39A,pp.1259-1268,1993.3